

Docket No.: M&N-IT 213



0400

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class Mail in an envelope addressed to the Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231, on the date indicated below.

By: Markus Nolf Date: February 25, 2002

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Karl Joachim Ebeling et al.  
Applic. No. : 10/047,613  
Filed : January 15, 2002  
Title : Vertical Laser Diode with Means for Beam Profile Forming

CLAIM FOR PRIORITY

Hon. Commissioner of Patents and Trademarks,  
Washington, D.C. 20231

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 199, based upon the German Patent Application 101 02 458.4, filed January 15, 2001.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Markus Nolf  
For Applicants

MARKUS NOLFF  
REG. NO. 37,006

Date: February 25, 2002

Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100  
Fax: (954) 925-1101

/kf

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101.02.458.4

**Anmeldetag:** 15. Januar 2001

**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG,  
München/DE

**Bezeichnung:** Vertikallaserdiode mit ausbleichbarem Absorber-  
mittel

**IPC:** H 01 S, H 04 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 07. Februar 2002  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Agurks

1

## Beschreibung

Bezeichnung der Erfindung: Vertikallaserdiode mit  
ausbleichbarem Absorbermittel

5

Die Erfindung betrifft eine Laserdiode mit einem  
Vertikalresonator nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und  
ein optisches System mit einer solchen Laserdiode nach  
Anspruch 12.

10

Vertikallaserdioden sind beispielsweise bekannt in den  
Materialsystemen InAlGaAsN oder InAlGaP auf GaAsSubstrat,  
InAlGaAsP auf InPSubstrat oder InAlGaAsN auf Saphir oder  
SiCSubstrat und in ihren Grundzügen in K. J. Ebeling,  
Integrated Optoelectronics, Springer Verlag 1993,  
beschrieben.

15

Kennzeichnend für diese Vertikallaserdioden ist, dass die  
Vertikallaserdioden aktive Multiquantumwellschichten zur  
Lichterzeugung und monolithisch oder hybrid integrierte  
BraggReflektoren enthalten, die den optischen FabryPerot  
Resonator bilden. Zur Stromeinschnürung in der Vertikal  
laserdiode werden selektive laterale Oxidation,  
Protonenimplantation oder Mesaätzen eingesetzt, die neben  
thermischen Effekten auch die optische Wellenführung in den  
Strukturen bestimmen.

5

Bei den bekannten Vertikallaserdioden ist es nachteilig, dass  
die strukturinduzierte transversale Modenselektion nicht  
besonders effizient ist, so dass reine Emission auf der  
transversalen Grundmode nur in Strukturen mit kleinen  
Durchmessern und bei vergleichsweise geringen  
Ausgangsleistungen zu beobachten ist.

30

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine  
Vertikallaserdiodenstruktur für hohe transversal einmodige  
Ausgangsleistung anzugeben, die darüber hinaus in der Lage

35

2

ist, unter bestimmten Betriebsbedingungen auch selbstpulsierend zu oszillieren.

5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Laserdiode mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Wesentlich an der Erfindung ist die zusätzliche Einbringung eines Absorbermittels mit einem ausbleichbaren (sättigbaren) Absorber, wobei dieser im FabryPerot Resonator einer  
10 Vertikallaserdiode angeordnet ist. Das ausbleichbare Absorbermittel bevorzugt Emission der transversalen gaußschen Grundmode mit ihrem Intensitätsmaximum auf der Achse, da das Ausbleichen des Absorbers an den Orten größter Intensität am stärksten ist.

15 Ausbleichbare Absorber oder ausbleichbare Quantenfilme sind an sich als optische Absorber mit nichtlinearem Absorptionsverhalten bekannt. Die Transmission der ausbleichbaren Absorber hängt von der eingestrahlten Strahlungintensität ab.  
20 Bei steigenden Leistungsdichten nimmt die Absorption ab; bei sehr hohen Leistungsdichten wird der Absorber im wesentlichen transparent.

Die Erfindung bezieht sich darauf, dass Licht im  
25 Vertikalresonator grundsätzlich eine inhomogene Intensitätsverteilung über den Strahlquerschnitt aufweist, wobei das ausbleichbare Absorbermittel dafür sorgt, dass das Licht an den Stellen hoher Intensität im Absorbermittel nur wenig gedämpft wird.

30 Damit lassen sich Absorptionsverluste der gaußförmigen transversalen Grundmode in Laserdioden mit Vertikalresonator besonders klein halten, so dass die Emission auf der Grundmode bevorzugt wird.

35 Bei geeigneter Einstellung der Grundabsorption für geringe Lichtleistungen und der stromabhängigen optischen Verstärker

im Laser kann es zu Selbstpulsationen kommen.

Diese Betriebsform wird in optischen Abtastsystemen, zum Beispiel im CDPlayer bevorzugt. Darüber hinaus fördert die lokale Ladungsträgergeneration durch Absorption im ausbleichbaren Absorbermittel die Strominjektion nahe der Achse der aktiven Zone, was wiederum vorteilhaft für die Grundmodenemission ist.

10 Auch läßt sich durch die Verwendung der erfindungsgemäßen Laserdiode die Dynamik des Ein bzw. Abschaltvorganges optischer Datenübertragungsvorrichtungen verbessern. Bei diesen Vorgängen kommt es zum Anschwingen höherer Transversalmoden. Die Verwendung eines ausbleichbaren Absorbermittels in der Laserdiode stabilisiert die Emission auf der transversalen Grundmode und verhindert damit das unerwünschte Auftreten von Mustereffekten bei der Übertragung von digitalen Signalfolgen. Dadurch lassen sich höhere Datenübertragungsraten und ein stabileres Modenverhalten über 20 einen weiten Temperaturbereich erreichen. Ferner ist damit ein Grundmodenbetrieb bei größeren Bauelementabmessungen möglich, so dass die erforderlichen Fertigungstoleranzen reduziert werden.

25 In einer vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird ein pn-Übergang aus III-V oder II-VI-Verbindungshalbleitermaterial verwendet, da sich diese Materialien sich gut für Vertikallaserdioden eignen.

30 Für eine einfache Herstellbarkeit ist das Absorbermittel monolithisch in eine Schichtenfolge integriert.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn das Absorbermittel außerhalb der Verarmungszone des pn-Übergangs angeordnet ist.

35

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Laserdiode ist mindestens ein

## 4

ausbleichbares Absorbermittel als Schicht im Vertikalresonator ausgebildet, wobei die Dicke der Schicht klein gegen ein Viertel der Materialwellenlänge ist. Auch ist es vorteilhaft, wenn mindestens ein Absorbermittel als

5 Schicht ausgebildet ist, wobei die Dicke der Schicht größer ist als ein Viertel der Materialwellenlänge. Durch die Wahl der Schichtdicke einer oder mehrerer Schichten läßt sich das Absorptionsverhalten variieren.

10 Ebenfalls ist es vorteilhaft, wenn die erfindungsgemäße Laserdiode zwei elektrische Zuführungen aufweist, jeweils eine für den p- und den n-Kontakt.

In vorteilhafter Weise verfügt eine Ausführungsform der

15 Laserdiode über ein Stromeinschnürungsmittel im Vertikalresonator.

Ein weitere Verbesserung der Modenselektion läßt sich dadurch erreichen, wenn in vorteilhafter Weise mindestens eine

20 Reflektorschicht im Vertikalresonator eine Reliefstruktur, insbesondere eine Fresnel-Linse aufweist.

Mit Vorteil ist im Vertikalresonator mindestens eine Spacerschicht, insbesondere zwischen Absorberschicht und

25 aktiver Zone angeordnet.

Des weiteren ist zur Beeinflussung der Emmissionswellenlängen vorteilhaft, wenn mindestens eine Schicht des

Vertikalresonators aus GaAsN oder InGaSbP besteht.

30 Eine vorteilhafte Anwendung findet die erfindungsgemäße Laserdiode in optischen Systemen, insbesondere in CD-Playern und Datenübertragungsanlagen.

35 Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnungen an mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vertikallaserdiode;

5 Fig. 2 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vertikallaserdiode als Ausschnitt der Fig. 1.

Der in Fig. 1 skizzierte Aufbau einer Vertikallaserdiode mit integrierter ausbleichbarer Absorberschicht 50 mit einem  
10 Absorbermittel 5 weist als unterste Schicht ein n-dotiertes GaAs-Substrat 1 auf, das mit einem GeNiAu-Kontakt 10 versehen ist.

Auf das GaS-Substrat 1 ist ein ca. 4  $\mu\text{m}$  dicker, erster  
15  $\text{Al}_{0,7}\text{GaAs}_{0,3}$ -GaAs Bragg-Reflektor 2 mit einer Dotierung von  $n=1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  aufgewachsen.

Oberhalb des Bragg-Reflektors 2 ist eine n-dotierte ( $n=5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )  $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ -Trägereinfangschicht 3 und darüber eine  
20 undotierte aktive Zone 4 angeordnet. Die aktive Zone 4 weist drei 8nm dicke  $\text{In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{As}$ -Quantenfilme 4a mit ca. 50nm dicken GaAs-Begrenzungsschichten 4c und 10nm dicken GaAs-Barrieren 4b auf (siehe im Detail Fig. 2).

25 Oberhalb der aktiven Zone 4 befindet sich eine hier im einzelnen nicht dargestellte  $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ -Trägereinfangschicht 51, die eine Dotierung von  $p=5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  aufweist (siehe Fig. 2). Diese Trägereinfangschicht 51 ist hier der gleich dotierten Absorberschicht 50 zugeordnet (Fig. 2).

30 In der Absorberschicht 50 ist als ausbleichbares Absorbermittel 5 eine 8nm dicker  $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$  Quantenfilm angeordnet. Dieser ist beidseitig von jeweils 10nm dicken GaAs-Barrieren umgeben, wobei diese Schichten allesamt eine  
35 Dotierung von  $p = 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  besitzen (siehe Fig. 2).

Als ausbleichbares Absorbermittel 5 als solche dient der

## 6

In<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>As Quantenfilm. Die Transparenz des Absorbermittels 5 nimmt mit wachsender Einstrahlungsintensität zu, so dass bei hohen Intensitäten das Absorpermittel im wesentlichen transparent wird. Die für das Ausbleichen kritische Intensität liegt bei solchen Quantenfilmen bei etwa 1 kW/cm<sup>2</sup>.

Die Absorberschicht 50 kann in den p- oder n-dotierten Bereich der Cladding-Schicht angeordnet werden. Werden mehrere Absorberschichten 50 verwendet, so können diese in beiden Bereichen der Cladding-Schicht angeordnet werden.

Die Stärke der gewünschten Absorption läßt sich durch die Materialzusammensetzung, die Dicke und die Lage der Absorberschicht(en) 50 relativ zu den Knoten und Bäuchen eines Stehwellenfeldes 100 (siehe Fig. 2) gezielt einstellen.

Auf der Absorberschicht 50 ist ein ca. 4µm dicker, mit  $p=1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  dotierter zweiter Al<sub>0,7</sub>Ga<sub>0,3</sub>As-GaAs Bragg-Reflektor 6 angeordnet.

Den Abschluß bildet eine 10 nm dicke p++dotierte GaAs-Kontaktschicht 7, um einen niederohmigen Anschluß an die p-Kontakte mittels eines TiPtAu-Kontaktes 20 zu gewährleisten.

Fig. 2 zeigt den Aufbau des Schichtenstapels zwischen den beiden Bragg-Reflektoren 2, 6 nach Fig. 1 im Detail.

Die Zusammensetzungen der Schichten wird durch die Skala am rechten Rand der Fig. 2 wiedergegeben. Die Variablen x und y geben dabei die Zusammensetzung des jeweiligen Verbindungshalbleiters Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As bzw. In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>As an.

Am oberen Rand der Fig. 2 ist die Zuordnungen der Schichten zu Fig. 1 angegeben, wobei die Schichten durch vertikale gestrichelte Linien angedeutet werden. Die Dicke der Schichten wird durch Bemaßungen angegeben. Ferner wird das sich ausbildende optische Stehwellenfeld 100 dargestellt. Die



## 7

Dicken der Schichten sind an das Stehwellenfeld angepaßt.

Am unteren Rand der Fig. 2 sind die Dotierungen der Schichten angegeben. Der Bereich A ist n-dotiert, der Bereich B ist  
5 undotiert, der Bereich C ist p-dotiert.

An der linken Seite der Schichtenfolge ist der erste Bragg-Reflektor 2, an der rechten Seite der zweite Bragg-Reflektor 6 angeordnet.

10

In der Mitte der Schichtenfolge liegt die aktive Zone 4, die drei  $\text{In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{As}$ -Quantenfilme 4a aufweist, die jeweils 8nm breit sind. Die aktive Zone 4 weist ferner 10nm dicke GaAs-Barrieren 4b und beidseitig ca. 50nm dicke GaAs-Begrenzungs-  
15 schichten 4c auf.

Zwischen dem Absorbermittel 5 und der aktiven Zone 4 ist die  $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ -Trägereinfangschicht 51, die eine Dotierung von  $p=5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  aufweist, angeordnet.

20

Das Absorbermittel 5 weist einen 8 nm dicken  $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ -Quantenfilm 5a mit beidseitig 10nm dicken GaAsBarrieren auf, die allesamt eine Dotierung von  $p = 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  besitzen. In einer alternativen Ausgestaltung kann das ausbleichbare  
25 Absorbermittel 5 undotiert sein.

Die relative Lage des ausbleichbaren Absorbermittels 5 im Stehwellenfeld 100 bestimmt die kritische mittlere Intensität, die für das Erreichen des Transparenzzustandes  
30 notwendig ist.

Die über der oberen GaAs-Barriere liegende  $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ -Cladding-Schicht 52 ist im selben Maße wie die Trägereinfangsschicht 51 p-dotiert.

35

In Fig. 2 nach rechts anschließend ist eine Schicht 54 zur Erhöhung der Reflektivität des Bragg-Reflektors angeordnet.

Es folgt eine ca. 30nm dicke p-dotierte AlAs-Schicht 53, die nach selektiver Oxidation zur lateralen Stromeinschnürung im Bauelement dient.

5

Die aktiven Quantenfilme zur Lichtemission befinden sich in einem Bauch des optischen Stehwellenfeldes 100 in der Verarmungszone des pn-Übergangs.

- 10 Die beschriebene Struktur läßt sich in bekannter Weise zum Beispiel unter Verwendung von Protonenimplantation oder selektiver Oxidation als Vertikallaserdiode herstellen. Die Realisierung der beschriebenen Schichtenfolgen kann beispielsweise mit Molekularstrahlepitaxie erfolgen. Zur p-Dotierung kann beispielsweise Kohlenstoff, zur n-Dotierung Si dienen. Die Herstellung ist auch mit metallorganischer Gasphasenepitaxie möglich.

- 20 Die erfindungsgemäße sättigbare Absorberschicht ist zur monolithischen Integration besonders gut geeignet und dabei für hohe optische Ausgangsleistung in der transversalen Grundmode vorteilhaft. Die Struktur erlaubt auch den selbstopulssierenden Betrieb von Vertikallaserdioden. Durch die Trägerlebensdauer im sättigbaren Absorber, einstellbar durch dessen Dotierung oder kristalline Morphologie bzw.
- 25 Zusammensetzung, läßt sich die Sättigungsintensität des Absorbers einstellen und auch die charakteristische Periode der Selbstoszillation regeln.

- 30 Alternative Bauformen zu der skizzierten Ausführung mit mehreren dünnen ausbleichbaren Absorberschichten oder massiven sättigbaren Strukturen sind selbstverständlich möglich. Ebenso ist die Struktur nicht auf das InAlGaAs-Halbleitersystem beschränkt, sondern läßt sich beispielsweise
- 35 auch in den Materialsystemen InGaAsP (z.B. auf InPSubstrat) oder InAlGaAsN (z.B. auf Saphir-, SiC- oder GaAs-Substrat verwirklichen. Auch in II-VI-Halbleitersystemen wie z.B.

ZnMgBeS<sub>Se</sub> ist die Vertikallaserstruktur zu realisieren.

Abhängig von der Emissionswellenlänge können GaAsN, InGaAsP, InAlGaAs oder InGaAsSbN auch als Absorbermittel 5 dienen.

5

Zur Verbesserung der Modenselektion sind auch Reliefstrukturen (z.B. Fresnel-Linsen) in den Spiegelschichten einsetzbar. Zu der Verbesserung der Modenselektion können auch Modulationsdotierungen beitragen.

10

Auch das Einbringen von Spacerschichten, insbesondere zwischen der aktiven Zone 4 und dem Absorbermittel 5 verbessert sich die Modenselektion.

15

## Patentansprüche

5 1. Laserdiode mit einem Vertikalresonator

gekennzeichnet durch

mindestens ein ausbleichbares Absorbermittel (5) für  
10 Strahlung im Vertikalresonator.

2. Laserdiode nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch  
mindestens einen pn-Übergang aus III-V- oder II-VI-Verbin-  
15 dungshalbleitermaterial.

3. Laserdiode nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Absorbermittel  
20 (5) monolithisch in eine Schichtenfolge integriert ist.

4. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das  
25 Absorbermittel (5) außerhalb der Verarmungszone des pn-Über-  
gangs angeordnet ist.

5. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden  
30 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens  
ein Absorbermittel (5) als Schicht im Vertikalresonator aus-  
gebildet ist, wobei die Dicke der Schicht klein gegen ein  
Viertel der Materialwellenlänge ist.

## 11

6. Laserdiode nach mindesten einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Absorbermittel (5) als Schicht ausgebildet ist, wobei die Dicke der Schicht größer ist als ein Viertel der Materialwellenlänge.

7. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zwei elektrische Zuführungen, jeweils einen für den p- und n-Kontakt.

8. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein Stromeinschnürungsmittel (53) im Vertikalresonator.

9. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Reflektorschicht (2, 6) eine Reliefstruktur, insbesondere eine Fresnel-Linse zur Verbesserung der Modenselektion aufweist.

10. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Vertikalresonator mindestens eine Spacerschicht, insbesondere zwischen der Absorberschicht 50 und der aktiven Zone 4 angeordnet ist.

11. Laserdiode nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Schicht des Vertikalresonators aus GaAsN oder InGaSbP besteht.

12

12. Optisches System, insbesondere ein CD-Player oder eine Datenübertragungsanlage, mit mindestens einer Laserdiode nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11.

5

13

## Zusammenfassung

Bezeichnung der Erfindung: Vertikallaserdiode mit  
ausbleichbarem Absorbermittel

5

Die Erfindung betrifft eine Laserdiode mit einem Vertikalre-  
sonator gekennzeichnet durch mindestens ein ausbleichbares  
Absorbermittel (5) für Strahlung im Vertikalresonator. Damit  
wird eine hohe transversal einmodige Ausgangsleistung  
10 realisiert, die darüber hinaus in der Lage ist, unter be-  
stimmten Betriebsbedingungen auch selbstpulsierend zu oszil-  
lieren.

(Fig. 1)

15

Fig. 1

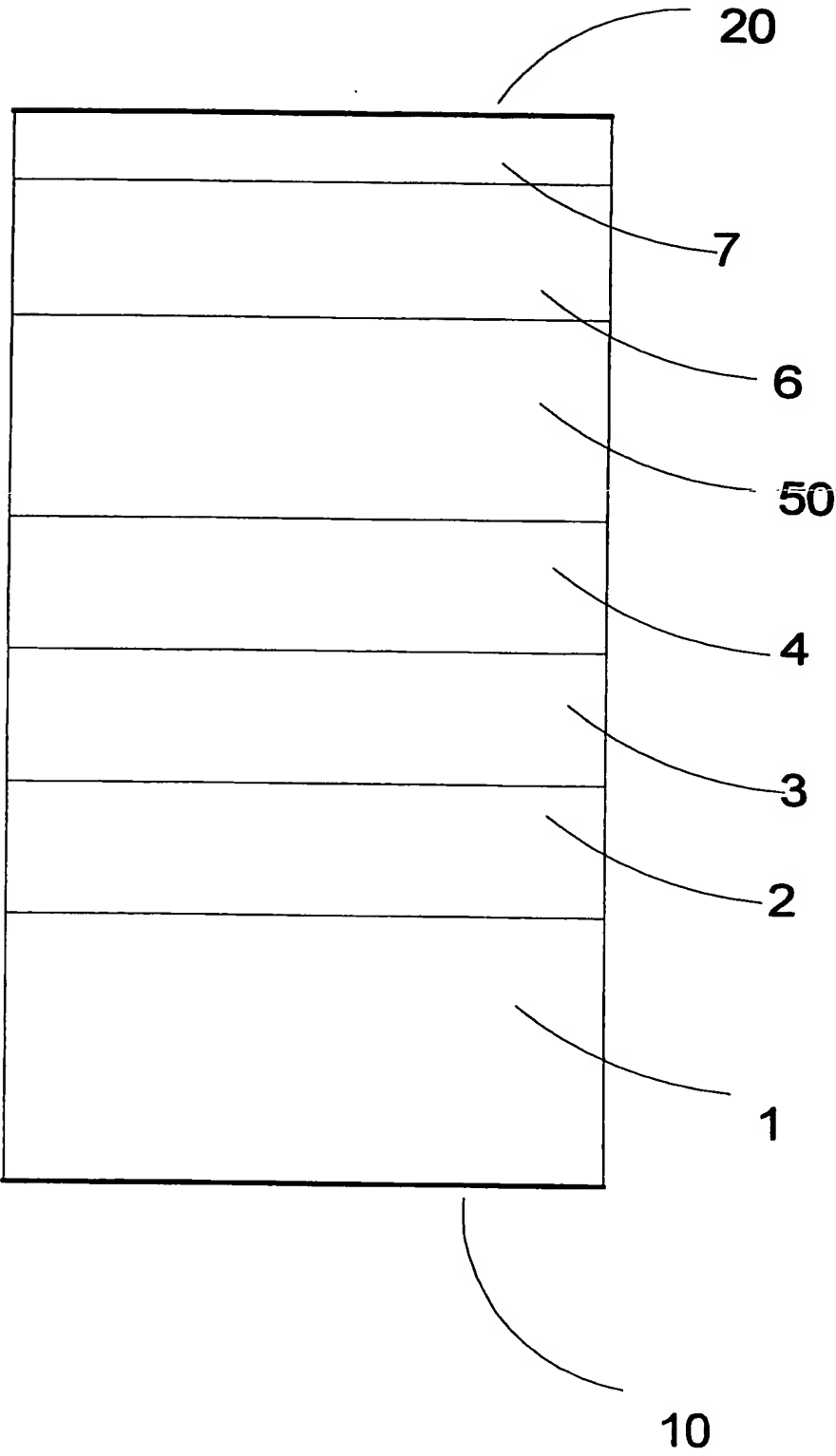




Fig. 2

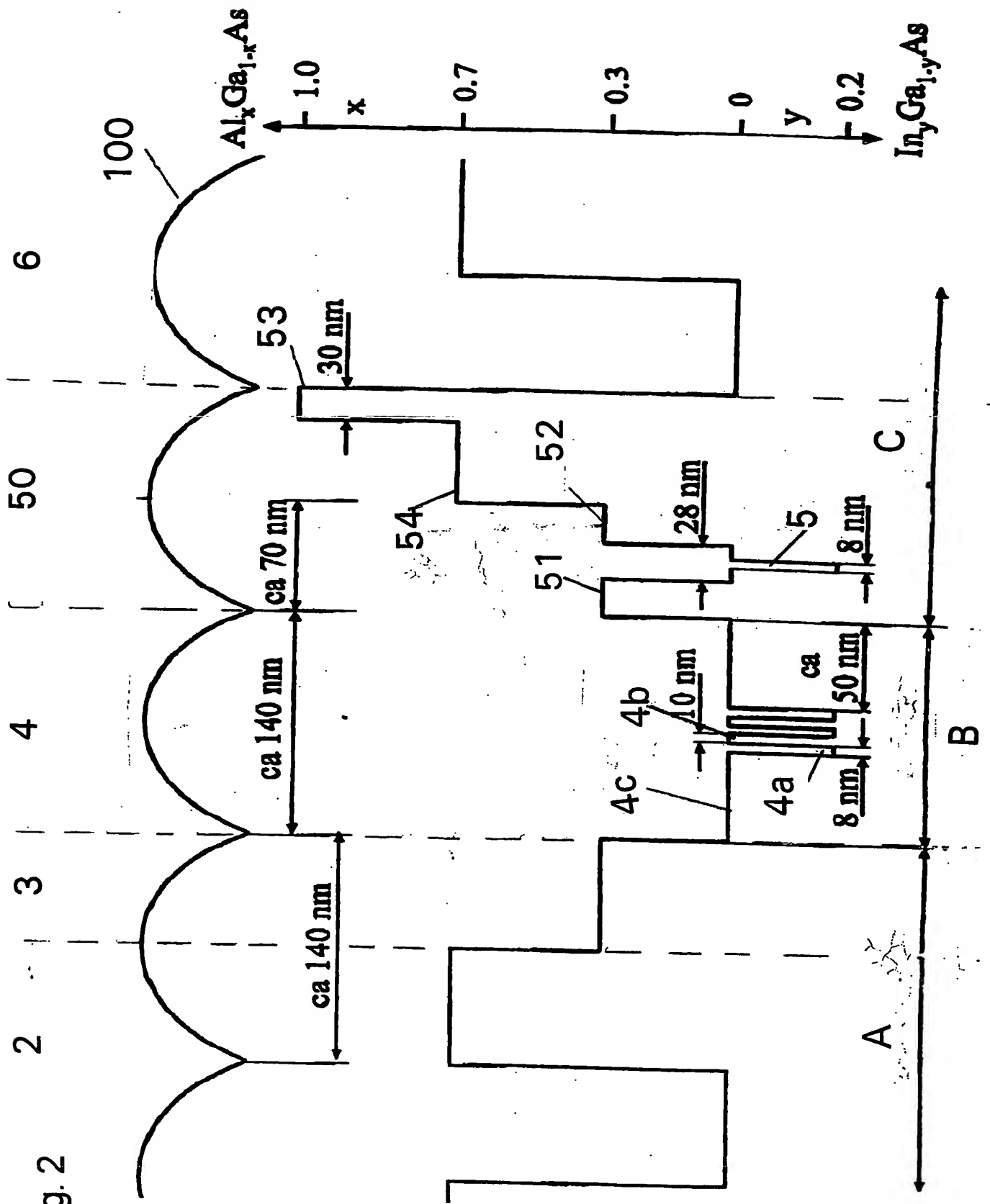


Fig. 1

10

TEL. (954) 955-1100  
HOLLYWOOD, FLORIDA 33025  
P.O. BOX 2480  
LENER AND GREENBERG P.A.

APPLICANT: \_\_\_\_\_  
SERIAL NO: \_\_\_\_\_  
DOCKET NO: \_\_\_\_\_

1
2
3
4
50
6
7
20